



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑩ DE 196 48 403 C 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 L 1/24
G 02 B 6/124

②1 Aktenzeichen: 196 48 403.0-52
②2 Anmeldetag: 22. 11. 96
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 2. 4. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Nagel, Thomas, Dr.-Ing., 01737 Kurort Hartha, DE;
Wall, Christian, Dipl.-Ing., 14776 Brandenburg, DE

⑦4 Vertreter:

Ilberg, Roland, Dipl.-Ing.; Weißfloh, Ingo, Dipl.-Ing.
(FH), 01474 Schönfeld-Weißig

⑦2 Erfinder:

gleich Patentinhaber

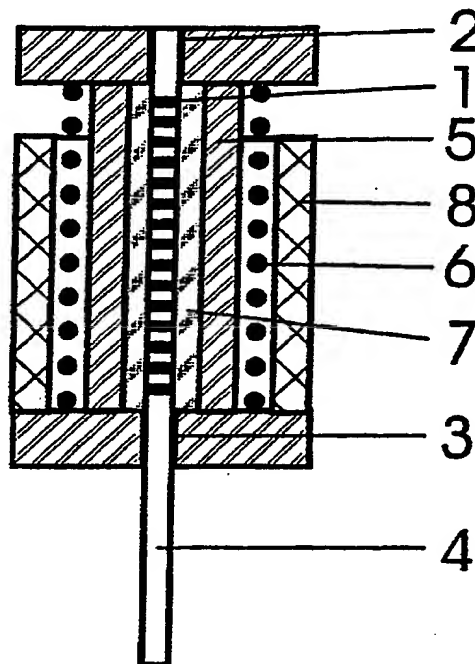
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 30 47 308 A1
DE 43 37 103
US 47 61 073
WO 96 17 223
WO 95 24 614

US-Z: Applied Optics, Vol. 18, No. 6, 15. März 1979,
S. 938-940;

⑥4 Sensor zur Erfassung von Druck- und/oder Zugkräften

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Kraftsensor, bestehend aus
einer Lichtleitfaser mit integriertem Bragg-Gitter (1) und ist
dadurch charakterisiert, daß die Lichtleitfaser (4) oberhalb
und unterhalb des Bragg-Gitters (1) in einem Dehnkörper (5)
fest eingebunden ist.



DE 196 48 403 C 1

DE 196 48 403 C 1

Die Erfindung betrifft einen Sensor gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zur Erfassung von Zug- und/oder Druckkräften.

Nach der US-PS 47 61 073 ist die sensorische Nutzbarkeit von faseroptischen Bauelementen bekannt. Speziell die in Lichtwellenleiter implementierten Faser-Bragg-Gitter ermöglichen die Erfassung von Veränderungen der physikalischen Größen Zugspannung und Temperatur.

Wie in der DE 43 37 103 beschrieben, erfolgt die Herstellung der Faser-Bragg-Gitter durch eine permanente Änderung der Brechzahl des Glases im Kern von Fasern. Die Faser-Bragg-Gitter werden durch ein spezielles UV-Interferenzsignal in einen Abschnitt der Faser geschrieben. Die Interferenzsignale können z. B. durch holografische Prozesse oder Excimer-Laser mit einer entsprechenden Phasenmaske erzeugt werden. Die Absorption des UV-Lichtes in der Faser führt zu Defekzentren im Glas und innerhalb der Faser ändert sich der komplexe Lichtbrechungsindex. Im ungestreßten Zustand besitzen die Faser-Bragg-Gitter eine bestimmte, sogenannte Bragg-Wellenlänge λ_{BRAGG} .

Faser-Bragg-Gitter können als sehr schmalbandige optische Engpaßfilter aufgefaßt werden, d. h. das Gitter reflektiert in einem kleinen spektralen Bereich das einfallende Licht der entsprechenden Bragg-Wellenlänge. Wie bekannt, kann durch den Einfluß äußerer Parameter, wie z. B. eine Längenänderung des betreffenden Faserabschnittes, eine Änderung der Bragg-Wellenlänge provoziert werden. Die Bragg-Bedingung, nach der die Bragg-Wellenlänge bestimmt wird, lautet:

$$\lambda_{\text{BRAGG}} = \frac{2}{m} \cdot n_m \cdot \Lambda$$

λ_{BRAGG} Bragg-Wellenlänge
 m Ordnung des Bragg-Gitters
 n_m mittlere effektive Brechzahl
 Λ Räumliche Periodenlänge

Durch mechanischen Streß wird Einfluß auf die Periodenlänge genommen und durch eine Temperaturänderung beeinflußt man die mittlere effektive Brechzahl des Faser-Bragg-Gitters.

Von Meltz u. a. werden in der US-PS 47 61 073 Vorschläge für die Applikation von Faser-Bragg-Gittern in Sensoren und die Auswertung der Meßsignale gemacht. Dabei werden eine oder mehrere längere Lichtleitfasern in einem zu beobachtenden Bauteil einer Konstruktion spannungslos eingebettet, wobei in die Lichtleitfasern in vorgewählten Abständen Bragg-Gitter unterschiedlicher Bragg-Wellenlänge eingearbeitet sind. Beim Deformieren des Bauteils infolge gebrauchsmäßiger Beanspruchung werden die Lichtleitfasern gedehnt oder zusammengedrückt und damit die eingeschriebenen Bragg-Wellenlängen verändert, was im Sinne von permanenten Materialkontrollen auswertbar ist. Die Anwendung ist jedoch immer an die jeweilige konkrete Kontrollaufgabe beschränkt, weil der Sensor untrennbarer Bestandteil der Konstruktion ist.

Die PCT-Anmeldung WO 95/24614 zeigt einen speziellen Temperatursensor unter Verwendung von Faser-Bragg-Gittern, die PCT-Anmeldung WO 96/17223

beschreibt einen optischen Korrosionssensor nach oben genanntem Prinzip.

Aus der DE 30 47 308 A1 ist noch ein akustisches Sensorelement zur Erfassung hydrostatischer, also ungerichteter, Druckschwankungen unter Wasser bekannt, bei dem die druckinduzierte Längenänderung und Änderung des Brechungsindex einer gewöhnlichen Lichtleitfaser ausgenutzt wird. Zur Vergrößerung der Druckangriffsfläche und damit der Druckkraft wird eine relativ lange Lichtleitfaser, bevorzugt spiralförmig gewickelt, in einen großen Block mit einem gegenüber dem E-Modul der Lichtleitfaser etwas geringerem E-Modul eingebettet, auf den der Außendruck wirkt und der die Druckkraftschwankungen auf die Lichtleitfaser überträgt. Partiiell auf das Sensorelement einwirkende oder gerichtete Kräfte sind mit diesem Sensorelement prinzipbedingt nicht zu erfassen. Außerdem ist die Empfindlichkeit auch mit dem als "Kraftverstärker" eingesetzten elastischen Block vergleichsweise bescheiden, abgesehen davon, daß das Sensorelement sehr groß baut, was freilich als Unterwasser-Akustiksensoren angesehen kann.

Aufgabe der Erfindung ist es, das Prinzip der Wellenlängenänderung bei gestreßten Bragg-Gittern für Kraftsensoren in Form kleinbauender Sensor-Bauelemente nahezu universeller Einsetzbarkeit und höchster Präzision nutzbar zu machen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ausgestaltungen und weitere Konfigurationen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Lichtleitfaser mit implementiertem Faser-Bragg-Gitter wird unter- und oberhalb des Gitters mit einem Dehnkörper auf Zug vorgespannt und fest verbunden. In dieser vorgespannten Ausgangslage hat das Bragg-Gitter eine charakteristische Gitterwellenlänge. Bei Dehnung oder Stauchung des Sensors verschiebt sich diese Gitterwellenlänge, was für die Auswertung der wirkenden Kräfte nutzbar gemacht wird. Durch die Vorspannung der Lichtleitfaser bedingt, reagiert das Bauelement bereits auf geringste Spannungsdifferenzen sowohl bei Zug- als auch Druckmessung, hystereseebedingte Meßungenauigkeiten sind durch die Verschiebung des Arbeitspunktes weg vom Nullspannungspunkt unmöglich. Außerdem erhöht sich die Lebensdauer der Lichtleitfaser, da sie unter normalen Meßbedingungen niemals auf Druck beansprucht wird.

Zur Temperaturkompensation kann in Weiterbildung der Erfindung ein weiteres Faser-Bragg-Gitter in den Dehnkörper eingebracht werden. Dieses Faser-Bragg-Gitter wird allerdings nur einseitig befestigt und unterliegt somit keinen äußeren Kräften. Durch einen entsprechenden Wellenlängenvergleich der belasteten Faser und der unbelasteten Referenzfaser kann der Temperatureinfluß kompensiert werden.

Der Sensor kann in weiterer Ausgestaltung der Erfindung als Einfach- oder Mehrfachelement ausgeführt werden. Wird der Kraftsensor als Mehrfachelement ausgeführt, so werden die dehnungsempfindlichen Bereiche in einer Parallelschaltung angeordnet.

Der Sensor kann ferner als ein- und mehrdimensional wirkender Kraftsensor ausgeführt werden.

Die Erfindung wird nachstehend an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführung eines eindimensionalen Kraftsensors für Zug- und Druckkräfte,

Fig. 2 eine erste Ausführung eines eindimensionalen

Kraftsensoren für Zug- und Druckkräfte mit Temperaturkompensation,

Fig. 3 eine zweite Ausführung eines mehrdimensionalen Kraftsensoren mit parallel angeordneten Bragg-Gittern,

Fig. 4 eine zweite Ausführung eines flächenhaften Kraftsensoren mit parallel angeordneten Bragg-Gittern,

Fig. 5 eine zweite Ausführung eines mehrdimensionalen Kraftsensoren mit parallel angeordneten Bragg-Gittern und punktuell wirkender Druckkraft,

Fig. 6 eine zweite Ausführung eines mehrdimensionalen Kraftsensoren mit parallel angeordneten Bragg-Gittern und linien- bzw. flächenförmig wirkenden Zug- und Druckkräften,

Fig. 7 eine dritte Ausführung eines Mehrkoordinaten-Kraftsensoren und

Fig. 8 die Ausführung einer Meßsignalauswertung.

Das Bragg-Gitter 1 (Fig. 1) befindet sich zwischen einem oberen Einspannelement 2 und einem unteren Einspannelement 3 in einer Lichtleitfaser 4. Ein Dehnkörper 5 zwischen den Einspannelementen 2, 3 ist im Ausgangszustand auf Zug vorgespannt. Für dieses Vorspannen können zusätzliche Elemente, wie Federn oder federnde Elemente, eingesetzt werden. In diesem Beispiel realisiert eine Feder 6 die vorzugsweise aufzubringende Vorspannkraft und stützt sich dabei gegen das obere Einspannelement 2 ab. Des weiteren können dafür auch die federnden Eigenschaften des konstruktiv günstig gestalteten Dehnkörpers 5 genutzt werden. Der Hohlraum 7 zwischen der Lichtleitfaser 4 und dem Dehnkörper 5 kann mit einem nicht näher dargestellten Füllstoff versehen werden. Ein unterer Anschlag 8 begrenzt die Verformung des Dehnkörpers 5 bei Druckbeanspruchung. Ein zusätzlicher nicht dargestellter oberer Anschlag kann für die Begrenzung bei Zugbelastung vorgesehen werden. Nutzbar wäre in diesem Zusammenhang auch eine durch die Form und die Eigenschaften des Dehnkörpers 5 bedingte eigenständige Verformungsbegrenzung. In keiner der vorgeschlagenen Varianten wirkt der Dehnkörper 5 als "Verstärker" für den zu messenden Zug oder Druck. Ihm kommen vielmehr die Aufgaben zu, den Sensor als Bauelement ausführen zu können und zur Erzeugung oder Unterstützung der Vorspannung der Lichtleitfaser 4 beizutragen. Selbstverständlich schützt er die Lichtleitfaser auch vor mechanischer Überbeanspruchung. Die Lichtleitfaser 4 wird an eine nicht näher ausgeführte, geeignete Auswerteelektronik angeschlossen, die die Wellenlängenänderung des Bragg-Gitters 1 erfaßt, evtl. umrechnet und als Anzeigewert ausgibt.

Fig. 2 zeigt eine temperaturkompensierte Variante des Kraftsensoren. Eine zusätzliche Referenzfaser 9 enthält ein Referenz-Bragg-Gitter 10, welches nur durch eine einseitige Befestigung 11 mit dem Dehnkörper 5 verbunden ist. Temperatureinflüsse, die eine Verschiebung der Bragg-Wellenlänge hervorrufen, können durch die unbelastete Referenzfaser 9 erfaßt und durch eine geeignete Auswertung eliminiert werden.

Fig. 3 zeigt mehrere parallel angeordnete Gitter nach Fig. 1. Damit lassen sich linien- oder flächenhafte Kräfte erfassen und auswerten. Eine Membran 12 dient dem Abschluß der einzelnen Sensorelemente und bildet eine einheitliche Kontaktfläche.

Fig. 4 zeigt den flächenhaften Sensor aus einzelnen Sensorelementen nach Fig. 1. Punktuell (Fig. 5) oder flächenhaft (Fig. 6) angreifende Kräfte F , die z. B. auch gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung am Sensor angreifen können, lassen sich mit einem derartigen Sen-

soraufbau nachweisen.

Fig. 7 zeigt die beispielhafte Ausführung eines dreidimensionalen Sensors in Form einer 3D-Lastzelle, mit dem aus allen Raumkoordinaten angreifende Kräfte F_x , F_y und F_z erfaßbar sind.

Fig. 8 zeigt die beispielhafte Ausführung eines Sensors S und der dazugehörigen Auswerteelektronik, bestehend aus einer Laserquelle L , einem Strahlteiler St , einem Spektralanalysegerät Sp und einer Auswerteeinheit A , die nicht Bestandteil dieser Patentanmeldung ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Bragg-Gitter
- 2 oberes Einspannelement
- 3 unteres Einspannelement
- 4 Lichtleitfaser
- 5 Dehnkörper
- 6 Feder
- 7 Hohlraum
- 8 Anschlag
- 9 Referenz-Lichtleitfaser
- 10 Referenz-Bragg-Gitter
- 11 einseitige Befestigung
- 12 Membran
- A Auswerteeinheit
- L Laserquelle
- S Sensoren
- Sp Spektralanalysegerät
- St Strahlteiler

Patentansprüche

1. Sensor zur Erfassung von gerichteten Druck- und/oder Zugkräften unter Verwendung einer in Richtung zur erfassenden Beanspruchung orientierten Lichtleitfaser mit integriertem Bragg-Gitter, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser (1) unmittelbar oberhalb und unterhalb des Bragg-Gitters (1) zwischen zwei Einspannelementen (2, 3), die den Sensor bauelementartig fassen, auf Zug vorgespannt ist.
2. Sensor nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Lichtleitfasern (1) mit ihrem jeweiligen Bragg-Gitter in einer Parallelschaltung angeordnet sind.
3. Sensor nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspannelemente (2, 3) der oder aller Lichtleitfasern (4) in einem gemeinsamen Dehnkörper (5) eingebunden sind.
4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Dehnkörper (5) so ausgebildet ist, daß er nach dem Fixieren des Bragg-Gitter-Abschnittes diesen durch die eigene Elastizität des Materials dehnt und somit vorspannt.
5. Sensor nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Dehnkörper (5) eine von ihm unabhängige Auslenkungsbegrenzung besitzt.
6. Sensor nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Dehnkörper (5) selbst eine Ausdehnbegrenzung besitzt.
7. Sensor nach den Ansprüchen 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraum zwischen der Lichtleitfaser (4) und dem Dehnkörper (5) mit einem Schutzmedium gefüllt ist.
8. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Temperatur-

kompensation in der Referenz-Lichtleitfaser (9) mit einem Referenzgitter (10) in den Sensor eingebracht ist.

9. Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzgitter (10) nicht vorgespannt ist. 5

10. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Sensoren eines Bauelementes in mehr als einer Raumkoordinate gerichtet angeordnet sind. 10

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 3:

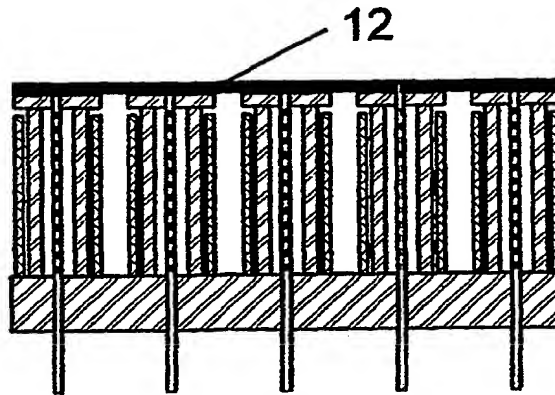


Fig. 4:

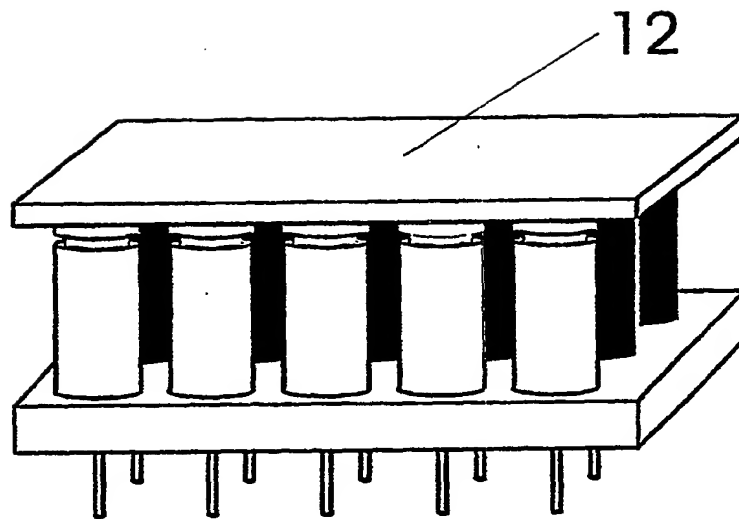


Fig. 5:

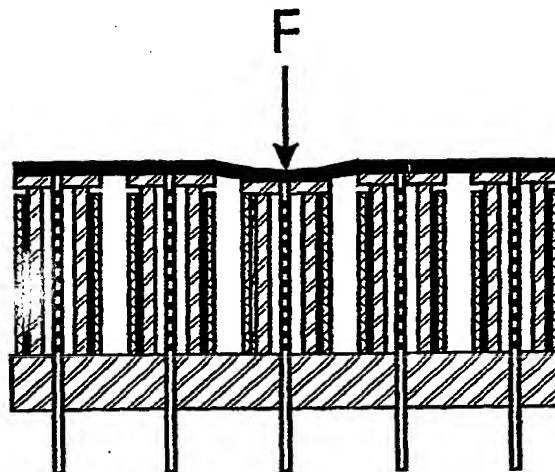


Fig. 1:

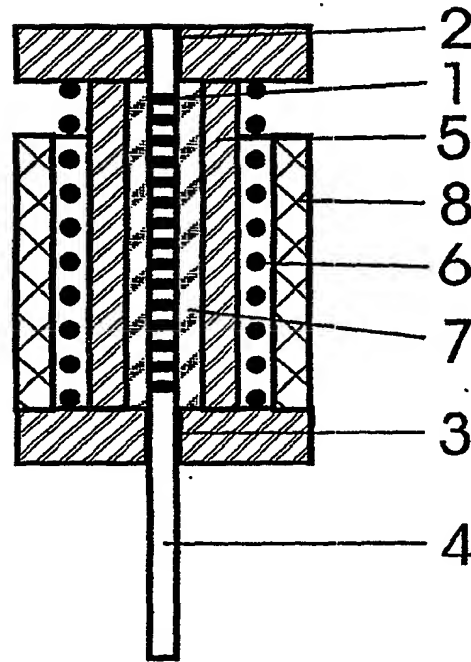


Fig. 2:

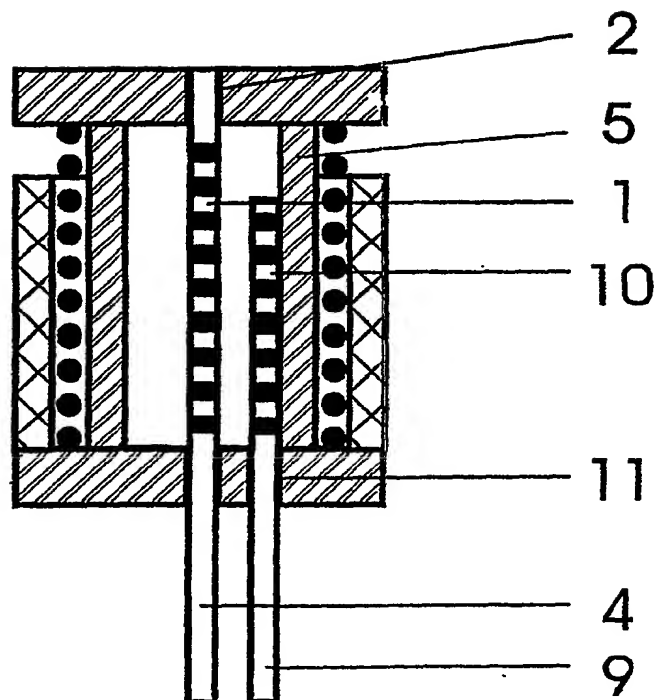


Fig. 6:

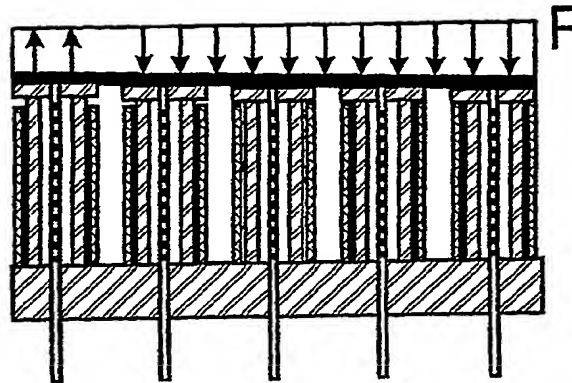


Fig. 7:

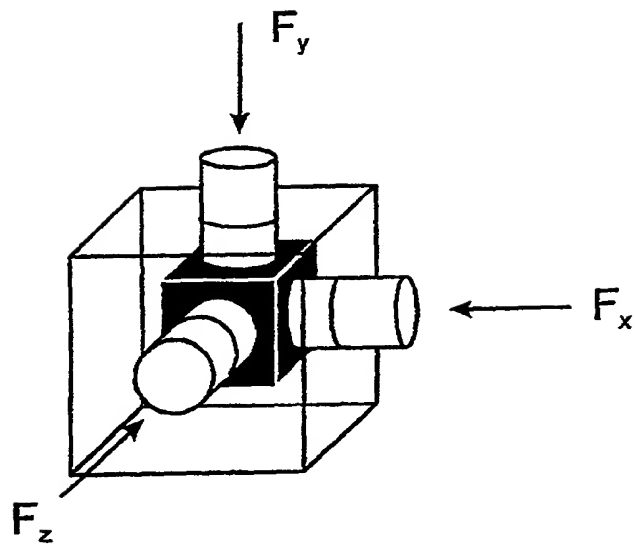


Fig. 8:

